

Résumé

Ces études de la répartition spatiale des racines dans les sols ont été conduites selon la méthode de l'observation du profil cultural, dans des fosses creusées à l'aplomb de la frondaison des arbres ou selon la méthode de la tranchée spirale logarithmique. Les caractéristiques physico-chimiques des horizons (texture, structure, matière organique) influent fortement sur le développement des racines. Il en est de même des techniques culturales, en particulier le travail du sol et l'irrigation. Bien qu'il ne soit pas possible, compte tenu de ces diverses interactions, de définir un système racinaire «type», la caractéristique générale des avocats cultivés dans les régions tropicales humides est d'avoir un enracinement superficiel, le plus souvent localisé dans l'horizon humifère.

Abstract

These studies on the spatial distribution of roots in the soil were carried out by observing the cultural profile in trenches dug perpendicular to the leaf crown or using the logarithmic spiral trench method. The physico-chemical characteristics of the horizons (texture, structure, organic matter) have a considerable impact on root development. The same goes for crop techniques, particularly soil tillage and irrigation. Although it is impossible to define a «typical» root system because of these various interactions, the most striking characteristic of avocado trees grown in the Tropics is their superficial root system, generally located in the humus-bearing horizon.

Resumen

Estos estudios de la distribución espacial de las raíces en los suelos se llevaron a cabo según el método de observación de perfil del cultivo, en zanjas abiertas verticalmente a la fronda de los árboles o según el método de la zanja espiral logarítmica. Las características físico-químicas de los horizontes (textura, estructura, materia orgánica) influyen fuertemente en el desarrollo de las raíces. Lo mismo pasa con las técnicas de cultivo, especialmente el trabajo del suelo y el riego. Aunque no resulte posible, habida cuenta de las distintas interacciones, definir un sistema racinar «tipo», la característica general de los aguacates cultivados en las regiones tropicales húmedas es que poseen un arraigo superficial, las más de las veces localizado en el horizonte humífero.

Le système racinaire de l'avocatier dans diverses situations pédoclimatiques

Godefroy J.

CIRAD-FLHOR, BP 5035, 34032 Montpellier Cedex 1, France

Dans les divers ouvrages sur l'avocatier, la partie consacrée aux racines est traitée de façon très succincte, voire inexistante. De nombreuses observations du système racinaire de l'avocatier ont probablement été faites par les chercheurs ou les arboriculteurs de divers pays, mais peu d'articles ont été publiés sur ce sujet. L'interrogation de la base de données «Agritrop» du Cirad indique 32 références bibliographiques sur l'étude des racines dont 8, soit 25 % seulement, sur la description du système racinaire des arbres *in situ*. La majorité des publications sur les racines concernent les techniques de multiplication végétative, bouturage ou cultures *in vitro* (44 %), ainsi que la physiologie des racines (31 %).

Après une synthèse des données bibliographiques les plus intéressantes, cet article présente les observations effectuées dans des vergers du Cameroun, de Côte d'Ivoire et de Martinique, selon la méthode du profil cultural de Hénin *et al.* (1969).

Données de la bibliographie

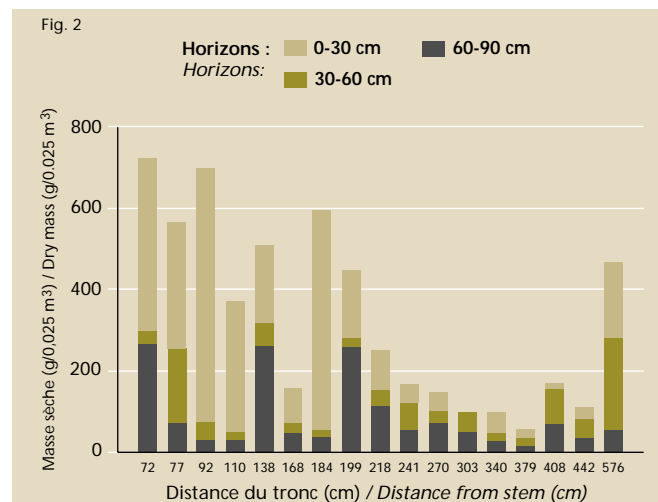
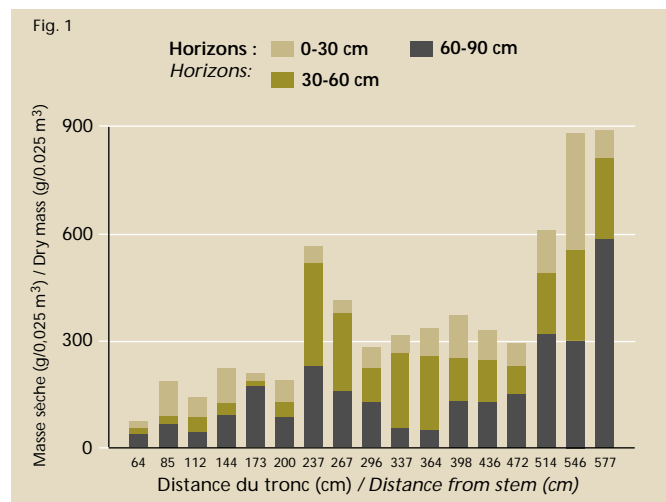
Moutonnet *et al.* (1977) ainsi que Durand et Claassens (1987) ont donné les descriptions les plus complètes du système racinaire d'avocats en utilisant la méthode de la tranchée spirale logarithmique, mise au point par Huguet (1973).

À l'île de la Réunion, Moutonnet a observé un avocatier de semis de cinq ans, de 6,30 m de hauteur et de 5,50 m de diamètre.

Le sol ferrallitique (classification française) a un horizon humifère (4 % de matière organique) de 15 à 20 cm d'épaisseur, de structure grumeleuse ou polyédrique fine et de texture argileuse (argile : 50 %, limon : 35 %, sable : 15 %). En profondeur (20 à 100 cm), le sol est homogène, de structure polyédrique grossière et de texture un peu plus argileuse (argile : 60 %, limon 35 %, sable : 5 %) ; il n'y a pas d'éléments grossiers (graviers ou cailloux). Dans l'ensemble du profil, la densité apparente est faible, un peu inférieure à 1, donc la porosité totale est élevée, de l'ordre de 65 %, avec un tiers de macropores et deux tiers de micropores. La pluviosité annuelle moyenne du site est de 1 400 mm et le verger est irrigué par aspersion.

Sur 4,60 m de tranchée spirale, le nombre de racines est de 1 257 et la densité moyenne rapportée au m² de 429. Les racines sont présentes jusqu'à 70 cm de profondeur mais 59 % sont localisées dans l'horizon humifère (0-20 cm), 27 % entre 20 et 40 cm et 14 % entre 40 et 70 cm. Latéralement, les plus longues racines mesurent un peu plus de 5 m. Soixante-dix-sept pour cent des racines ont un diamètre inférieur ou égal à 1 mm ; les plus grosses racines ($\phi > 1$ mm) ont un diamètre moyen de 3,5 mm. La racine pivotante ramifiée est légèrement inclinée.

En Afrique du Sud, Durand et Claassens (1987), ont étudié deux arbres de dix-huit ans de la variété Fuerte, greffés sur des avocats de semis de Zutano, implantés, l'un sur un sol argileux à profil homogène (argile : 49 %), l'autre sur un



Figures 1 et 2. Distribution de la masse sèche racinaire totale le long du profil d'une tranchée spirale logarithmique pour un avocatier sain.

Distribution of total dry root mass along the profile of a logarithmic spiral trench for a healthy avocado tree.

Fig. 1 : terrain à profil homogène / *land with uniform profile* — Fig. 2 : sol à deux horizons / *soil with two horizons* (d'après Durand et Claassens, 1987 / according to Durand and Claassens, 1987)

sol avec deux horizons distincts (horizon A : 9 % d'argile, horizon B : 20 %). La densité racinaire du premier arbre est homogène sur 90 cm de profondeur, elle augmente depuis le tronc de l'arbre jusqu'à une distance de 6 m (figure 1) ; 51 % des racines ont un diamètre inférieur à 1 mm. En revanche, la majorité des racines du second arbre est localisée dans les 30 premiers centimètres et il y en a très peu de 60 à 90 cm ; la densité racinaire diminue depuis le tronc jusqu'à 6 m (figure 2) ; 34 % des racines ont un diamètre inférieur à 1 mm.

Ces deux exemples illustrent bien la relation entre le développement des racines et leur dimension, avec le profil pédologique.

En Israël, Levinson et Adato (1991), ont observé des avocats de dix ans de la variété Fuerte, greffés sur des avocats de race mexicaine, irrigués suivant trois techniques (tableau 1). Les engrais minéraux sont apportés dans l'eau d'irrigation. Le sol du verger est très argileux et non calcaire. Les observations ont été effectuées dans une tranchée creusée à 0,75 m du tronc, distance qui correspond à celle des lignes de goutteurs dans les parcelles irriguées par goutte-à-goutte. Les comptages de racines sont faits sur une largeur de fosse de 2 m.

Plus de 60 % des racines sont localisées dans l'horizon supérieur humifère (0 à 30 cm) et moins de 10 % en profondeur (60 à 90 cm). La proportion de racines fines ($\phi < 2$ mm) est un peu supérieure à 50 % (56 et 54 %) quand les

Tableau 1. Influence de l'irrigation sur la densité racinaire des avocats

Effect of irrigation on avocado tree root density

Profondeur en cm <i>Depth in cm</i>	Nombre de racines au m ² <i>Number of roots per m²</i>			Pourcentage de racines par horizon <i>Percentage of roots per horizon</i>		
	1	2	3	1	2	3
Racines totales <i>Total roots</i>						
0-30	863	638	710	63	67	62
30-60	450	313	318	33	33	28
60-90	57	3	114	4	< 1	10
moyenne / mean	457	318	380			
Racines de $\phi < 2$ mm <i>Roots $\phi < 2$ mm</i>						
0-30	527	367	393	68	71	74
30-60	225	152	103	29	29	19
60-90	18	0	37	3	0	7
moyenne / mean	257	173	178			

1. Irrigation par goutte-à-goutte ; apport : 46 % de l'évaporation mesurée en bac
Drip irrigation system; application: 46% of evaporation measured in a pan

2. Irrigation par goutte-à-goutte ; apport : 64 % de l'évaporation mesurée en bac
Drip irrigation system; application: 64% of evaporation measured in a pan

3. Irrigation par aspersion ; apport : 64 % de l'évaporation mesurée en bac
Sprinkler irrigation system; application: 64% of evaporation measured in a pan

arbres sont irrigués par goutte-à-goutte et un peu inférieure (47 %) quand les avocats sont irrigués par aspersion.

Conditions d'observations

Dans tous les vergers étudiés du Cameroun, de la Côte d'Ivoire et de la Martinique, les observations racinaires ont été effectuées dans des fosses creusées à l'aplomb de la frondaison des arbres. Dans ces conditions, la distance de la paroi observée au tronc de l'arbre varie

avec le développement végétatif de l'arbre. Selon les sites, les fosses pédologiques mesurent d'1 m à 1,50 m de longueur et d'1 m à 1,30 m de profondeur. Il est, évidemment, nécessaire de bien dégager la terre autour de chaque racine avec un couteau, avant d'effectuer les observations ou les comptages.

Observations

Au Cameroun, les observations ont été faites dans un verger de dix ans de la station expérimentale de Nyombé (altitude 80 m, pluviosité annuelle : 2 800 mm)

Tableau 2. Observations⁽¹⁾ des racines d'avocats de dix ans dans un sol volcanique du Cameroun ; pluviosité annuelle 2 800 mm ; altitude 80 m

Observations⁽¹⁾ of ten-year-old avocado tree roots in a volcanic soil in Cameroon; annual rainfall 2800 mm; 80 m above sea level

Site Site	Horizon (cm) Horizon (cm)	Nombre de racines au m ² par classes de diamètre Number of roots per m ² , classified according to diameter				Pourcentage de racines par horizon Percentage of roots per horizon
		$\phi < 2$ mm $\phi < 2$ mm	2 à 5 mm 2 to 5 mm	6 à 10 mm 6 to 10 mm	11 à 15 mm 11 to 15 mm	
1 variété Nabal 1 Nabal variety	0-15	467	67	67	40	64
	15-50	57	23	0	01	9
	50-100	32	20	0	0	17
2 variété Booth 7 2 Booth 7 variety	0-15	27	213	93	13	72
	15-55	10	25	15	0	28
	55-100	0	0	0	0	0
3 variété Nabal 3 Nabal variety	0-15	213	120	40	0	85
	15-50	23	6	0	0	15
	50-100	0	0	0	00	
4 variété Taylor 4 Taylor variety	0-15	40	40	0	0	25
	15-23	13	13	0	08	
	23-45	100	36	9	0	67
	45-100	0	0	0	0	0

(1) Observations dans des fosses d'1 m de longueur, creusées à l'aplomb de la frondaison des arbres.
Observations in 1 m long trenches, dug perpendicular to the leaf crown.

dont les arbres sont greffés sur des plants issus de noyaux d'avocats d'arbres de semis. Suivant les variétés greffées, les arbres mesurent de 6 à 8 m de hauteur et de 4 à 8 m de diamètre de frondaison (tableau 2). Le sol est d'origine volcanique récente. Le profil pédologique «type» est constitué de trois horizons :

- 0 à 15 cm : horizon humifère (7 % de matière organique) brun gris, de texture sablo limoneuse et de structure polyédrique fine ;
- 15 à 45-55 cm : horizon brun foncé de texture argilo-sableuse et de structure continue à débit polyédrique grossier ;
- 45-55 à 100 cm : horizon gris formé de cendres volcaniques sableuses, cimentées par de la silice. Cet «alios», appelé localement «dalle», peut être brisé avec une sous-soleuse.

Le site numéro 1 diffère du profil type par l'absence d'horizon cimenté et le site numéro 4, par la présence, de 15 à 23 cm, d'un horizon constitué à 90 % de lapillis (graviers de ponces volcaniques, synonyme : pouzzolane) de 5 à 10 mm de diamètre. Les comptages de racines sont effectués sur une longueur de fosse d'1 m.

La densité racinaire (nombre de racines par m²) est maximale dans l'horizon humifère (0 à 15 cm). Dans les profils des sites 2, 3 et 4, le développement des racines en profondeur est limité par la présence d'un horizon de cendres cimentées, à partir de 45 à 55 cm. A l'exception du profil 4, 65 à 85 % des racines sont lo-

calisées dans l'horizon supérieur humifère (0 à 15 cm). Soixante-dix à 90 % des racines observées ont un diamètre inférieur à 5 mm. Si on extrapole ces comptages de racines, effectués sur une section de fosse d'1 m, aux circonférences des projections des frondaisons des arbres, le nombre de racines est de : 1 790, 1 810, 1 660 et 662. Le nombre le plus faible correspond au profil 4, où il y a un horizon de lapillis entre 15 et 23 cm de profondeur.

Une seconde série d'observations a été faite dans un autre verger camerounais, situé dans une région d'altitude (1 000 m) et où la pluviosité annuelle est de 15 à 20 % plus faible qu'à Nyombé (2 200 à 2 400 mm). Les avocats de neuf ans sont tous de la variété Fuerte greffée sur des plants issus de noyaux d'avocats d'arbres de semis. Le sol, également d'origine volcanique, est profond et homogène, de structure favorable au développement des racines des arbres fruitiers. Le profil pédologique type est :

- 0 à 35 cm : horizon humifère (16 % de matière organique) de couleur noire, de texture argilo-limono-sableuse et de structure grumeleuse bien développée ;
- 35 à 110 cm : horizon brun jaunâtre, de texture identique à celle de l'horizon supérieur et de structure polyédrique bien développée.

Les drainages externe et interne sont très bons ; dans les profils, on n'observe aucune tache d'hydromorphie. Les indices de caractérisation de la structure

sont excellents : 0,1 et 0,5 pour les indices d'instabilité de Hénin (I_s), 11 et 19 pour les indices de percolation (K cm/heure). Comparé aux autres vergers mentionnés dans cet article, c'est dans celui-ci que nous avons observé les meilleurs développements racinaires d'avocats. Dans l'horizon humifère (0-35 cm), il y a de véritables feutrages de racines fines bien ramifiées et, dans l'horizon sous-jacent, des densités élevées de racines fines, lesquelles occupent, uniformément, le sol jusqu'à 110 cm, profondeur de la fosse.

En Côte d'Ivoire, dans la région Sud, altitude 80 m, sur un sol ferrallitique graveleux de texture sablo-argileuse, soumis à une pluviosité annuelle de 1 700 mm, les racines d'avocats de dix ans sont, en presque totalité, localisées dans l'horizon humifère, lequel, suivant les profils observés, a 8 à 13 cm d'épaisseur ; dans cet horizon, la terre est un peu plus meuble et moins compacte que dans les horizons sous-jacents. Cet enracinement superficiel s'observe quelle que soit la position topographique : bas, milieu ou haut de versant.

En Martinique, dans un verger de la côte Ouest (altitude : 100 m ; pluviosité : 1 500 mm/an) implanté sur un sol volcanique à ponces, de texture sableuse (argile : 9 %, limon : 18 %, sable : 73 %), les avocats de cinq ans de la variété Tonnage ont une densité de racines très élevée de 0 à 20 cm avec un maxi-



J.P. Gaillard

Avocatier de 10 ans, verger de Nyombé au Cameroun
10 year-old avocado tree, Nyombé plantation Cameroon

mum de 0 à 10 cm. Ces racines, de diamètre de l'ordre du millimètre, sont très ramifiées. De 20 à 100 cm de profondeur, la densité est moyenne. Les racines de 2 à 5 mm de diamètre sont peu ramifiées ; elles sont localisées, préférentiellement, dans des «bandes» distantes de 0,60 m correspondant à un passage de coultre de sous-soleuse avant la plantation.

Sur le versant sud de la montagne Pelée, (altitude 190 m ; pluviosité 1 800 mm/an) un avocatier de la variété Lula ayant un très fort développement (ϕ de la frondaison de 7 m) a l'enracinement suivant :

- 0 à 30 cm : densité très élevée (texture sablo-argileuse) ;
- 30 à 42 cm : absence (horizon de cendres volcaniques) ;
- 42 à 65 cm : densité élevée (texture sablo-argileuse ; 50 % de ponces) ;
- 65 à 110 cm : densité faible (horizon de ponces) ;
- 110 à 120 cm : densité élevée (texture argilo-limoneuse) ;
- jusqu'à 135 cm : présence ;
- les racines, de diamètre d'1 à 3 mm, sont peu ramifiées.

Sur le versant nord-est de la montagne Pelée (altitude 200 m ; pluviosité 3 000 mm/an), dans un sol comparable au précédent, et pour la même variété, le développement racinaire d'un arbre de 5,60 m de diamètre est le suivant :

- 0 à 10 cm : absence (texture : sable argilo-limoneux et ponces) ;

- 10 à 80 cm : deux racines de ϕ 1 mm sur 1 m de longueur de fosse (horizon de ponces) ;
- 80 à 90 cm : densité faible ; non ramifiées ; majorité de racines fines (ϕ 1 à 2 mm) quelques unes de 5 à 10 mm (texture sableuse et ponces) ;
- 90 à 130 cm : densité faible ; peu ramifiées ; fines (ϕ 1 mm) (ponces et sable grossier).

Dans la région Centre, des arbres de cinq ans de la variété Tonnage, à bon développement et bon état végétatif, ont des racines dans les 50 à 60 premiers centimètres, avec une densité moyenne à élevée selon les arbres. En dessous, les racines sont rares, à l'exception de l'arbre le plus développé (ϕ de la frondaison : 4 m), qui a des racines jusqu'à 120 cm de profondeur. Ce verger est implanté sur un sol argileux (60 à 70 % d'argile de 0 à 25 cm, 70 à 75 % en dessous), dans une région où la pluviosité annuelle moyenne est de 2 100 mm et l'altitude de 50 m.

Conclusion

Cette étude montre que, comme la majorité des arbres fruitiers, l'avocatier n'a pas un système racinaire «standard» comme cela est souvent présenté dans les ouvrages traitant de cette espèce. Le développement des racines plus ou moins en profondeur et la densité racinaire (nombre de racines à l'unité de surface) dépendent beaucoup du profil pédolo-

gique ou cultural, ainsi que des pratiques agricoles, en particulier le travail du sol et le mode d'irrigation.

Toutefois, dans les régions tropicales humides où ont été effectuées ces observations, l'enracinement est le plus fréquemment superficiel, la plus grande proportion de racines étant localisée dans l'horizon humifère. Il est vraisemblable qu'un bon travail du sol avant plantation (ce qui n'a pas été le cas dans les vergers étudiés) permettrait d'augmenter la masse racinaire dans l'horizon superficiel et en profondeur, comme nous l'avons observé dans un verger d'agrumes, après un labour de défonceur (Mademba-Sy *et al.*, 1992).

Nous n'avons pas évoqué, dans cet article, le problème du *Phytophthora* des racines qui entraîne, souvent, le dépérissement des arbres. Mentionnons seulement que dans les vergers camerounais ce champignon était présent dans les sols mais compte tenu du bon développement des racines et de leur renouvellement, en relation avec la bonne fertilité physico-chimique des sols, les avocats végètent et fructifient normalement. ■

Bibliographie / References

- DURAND B.J., CLAASSENS N.J.F. (1987) Root distribution of avocado trees in different soil types. In : *Proceedings of the first world avocado congress*, Pretoria, 4-8 mai 1987, South African Avocado Growers' Association, **10** : 15-19.
- HÉNIN S., GRAS R., MONNIER G. (1969) Le profil cultural : l'état physique du sol et ses conséquences agronomiques. Masson (Paris), 2ème éd., 332 p.
- HUGUET J.G. (1973) Nouvelle méthode d'étude de l'enracinement des végétaux pérennes à partir d'une tranchée spirale. *Ann. Agron.* **25** (6) : 707-731.
- LEVINSON B., ADATO I. (1991) Influence of reduced rates of water and fertilizer application using daily intermittent drip irrigation on the water requirements, root development and responses of avocado trees (cv. Fuerte). *J. Hort. Sci.* **66** (4) : 449-463.
- MADEMBAS-SY F., GODEFROY J., CAO VAN Ph. (1992) Aménagement et gestion d'un verger d'agrumes en région tropicale humide. Etude des profils culturaux et des coûts. *Fruits* **47** (n° spéc.) : 255-267.
- MOUTOUNET B., AUBERT B., GOUSSELAND J., *et al.* (1977) Etude de l'enracinement de quelques arbres fruitiers sur sol ferrallitique brun profond. *Fruits* **32** (5) : 321-333.

The root system of avocado trees under various soil and climatic conditions

Godefroy J.

CIRAD-FLHOR, BP 5035, 34032 Montpellier Cedex 1, France

In the various works on avocado, very little, if anything, is said about the roots. Numerous observations of the avocado root system have no doubt been made by researchers and nurserymen in various countries, but few articles have been published on the subject. The CIRAD «Agritrop» data base gives 32 bibliographical references of root studies, including only 8 (25%) with descriptions of the root system of trees studied *in situ*. The majority of publications on roots concern vegetative propagation techniques, cuttings or *in vitro* culture (44%), and root physiology (31%).

After a summary of the most interesting bibliographical data, this article describes the observations carried out in plantations in Cameroon, Côte d'Ivoire and Martinique, using the cultural profile method developed by Hénin *et al.* (1969).

Bibliographical data

Moutonnet *et al.* (1977) and Durand and Claassens (1987) gave the most complete descriptions of the avocado root system, using the logarithmic spiral trench method developed by Huguet (1973).

On Réunion, Moutonnet observed a five-year-old avocado tree grown from seed, 6.30 m tall and 5.50 m in diameter.

The ferrallitic soil (French classification) had a humus-bearing horizon (4% organic matter) 15 to 20 cm thick, with a fine crumb or polyhedron like structure and clayey texture (clay: 50%, loam: 35%, sand: 15%). Deep down (20 to 100 cm, the soil was homogeneous with a coarse polyhedral structure and a slightly more clayey texture (clay: 60%, loam: 35%; sand: 5%); there were no coarse elements (gravel or pebbles). For the profile as a whole, the bulk density was low, just below 1, hence overall porosity was high - around 65% - with a third macropores and two thirds micropores. Mean annual rainfall at the site was 1400 mm and the plantation was irrigated by a sprinkler system.

In a 4.60 m spiral trench, there were 1,257 roots, i.e. a mean density of 429 per m². Roots were found down to a depth of 70 cm, but 59% were in the humus-bearing horizon (0-20 cm), 27% between 20 and 40 cm and 14% between 40 and 70 cm. Laterally, the longest

roots were a little over 5 m long. Seventy-seven percent of roots were 1 mm in diameter or less; the largest roots ($\phi > 1$ mm) were 3.5 mm in diameter on average. The branched tap root sloped slightly.

In South Africa, Durand and Claassens (1987) studied two eighteen-year-old Fuerte variety trees, budded onto Zutano trees grown from seed, one planted on a clay soil with a homogeneous profile (clay: 49%), the other on a soil with two distinct horizon (horizon A: 9% clay, horizon B: 20%). The root density of the first tree was homogeneous down to a depth of 90 cm, and increased from the tree trunk to a distance of 6 m (figure 1); 51% of the roots were less than 1 mm in diameter. However, most of the roots of the second tree were found in the first 30 cm of soil and there were very few from 60 to 90 cm; the root density decreased from the trunk to a distance of 6 m (figure 2); 34% of the roots were less than 1 mm in diameter.

These two examples clearly illustrate the relation between root development and their size, and the soil profile.

In Israel, Levinson and Adato (1991) observed ten-year-old Fuerte variety avocado trees, grafted onto Mexican trees, irrigated in three different ways (table 1). Mineral fertilizers were applied with the irrigation water. The soil in the plantation was very clayey and not calcareous. The observations were made in a trench dug 0.75 m from the trunk, corresponding to the rows of drippers in the plots irrigated with a drip system. The roots were counted in a 2-m width of trench.

More than 60% of the roots were found in the humus-bearing topsoil (0 to 30 cm) and less than 10% deep down (60 to 90 cm). The proportion of fine roots ($\phi < 2$ mm) was a little over 50% (56 and 54%) for the trees irrigated with a drip system and a little lower (47%) for those irrigated with a sprinkler system.

Observation conditions

In all the plantations studied in Cameroon, Côte d'Ivoire and Martinique, the root observations were carried out in trenches dug perpendicular to the leaf crown. As a result, the distance between the trench wall observed and the tree trunk varied according to tree development.

Depending on the sites, the soil trenches were between 1 m and 1.50 m long and 1 m to 1.30 m deep. The soil obviously had to be thoroughly removed from each root with a knife before carrying out measurements or counts.

Observations

In Cameroon, the observations were carried out in a ten-year-old planting at the Nyombé experimental station (80 m above sea level, annual rainfall: 2,800 mm) containing trees grafted on seedlings grown from avocado stones obtained from trees grown from seed. Depending on the varieties grafted, the trees were 6 to 8 m tall and the leaf crown 4 to 8 m in diameter (table 2). The soil was of recent volcanic origin. The "typical" soil profile comprised three horizons:

- 0 to 15 cm: humus-bearing horizon (7% organic matter), greyish-brown, sandy loam with a fine polyhedral structure;
- 15 to 45-55 cm: dark brown horizon with a silty clay loam texture and a continuous structure with a coarse polyhedral fabric;
- 45/55 to 100 cm: grey horizon made up of sandy volcanic ash, cemented by silica. This «hardpan», known locally as a «slab», can be broken up with a subsoiler.

Site 1 differed from the typical profile in that there was no cemented horizon and site 4 in that there was a horizon from 15 to 23 cm comprising 90% lapilli (volcanic pumice stones, also known as pozzolana) 5 to 10 mm in diameter. The roots were counted along a 1 m section of trench.

The root density (number of roots per m²) was maximum in the humus-bearing horizon (0 to 15 cm). In the profiles at sites 2, 3 and 4, root development deep down was limited by the existence of a cemented ash horizon from 45 to 55 cm down. With the exception of profile 4, 65 to 85% of the roots were found in the humus-bearing topsoil (0 to 15 cm). Seventy to 90% of the roots observed were less than 5 mm in diameter. By extrapolating these root counts, carried out along a 1 m section of trench, to the circumferences of the leaf crowns, the number of roots was 1, 790, 1, 810, 1, 660 and 662. The lowest number corresponds to profile 4, where there was a lapillus horizon between 15 and 23 cm down.

A second series of observations was carried out in another plantation in Cameroon, in a high

altitude region (1,000 m) with 15 to 20% lower annual rainfall than at Nyombé (2,200 to 2,400 mm). The nine-year-old avocado trees were all of the Fuerte variety grafted onto seedlings grown from avocado stones obtained from trees grown from seed. The soil, which was also of volcanic origin, was deep and homogeneous, with a structure propitious to fruit tree root development. The typical soil profile was:

- 0 to 35 cm: black humus-bearing horizon (16% organic matter) with a silty clay loam texture and a well developed friable structure;
- 35 to 110 cm: yellowish brown horizon, with a texture identical to that of the topsoil and a well developed polyhedral structure.

External and internal drainage was very good; there were no waterlogged patches in the profiles. The structure characterization indices were excellent: 0.1 and 0.5 for the Hénin instability index (Is), 11 and 19 for the percolation index (K cm/hour). Compared to the other plantations studied in this article, this was where the best avocado root development was seen. In the humus-bearing horizon (0 - 35 cm), there was veritable felting of well branched fine roots, with high densities of fine roots in the underlying horizon that uniformly occupied the soil down to a depth of 110 cm, the depth of the trench.

In the southern region of Côte d'Ivoire, 80 m above sea level, on a gravelly ferrallitic soil with a loamy sand texture, with annual rainfall of 1,700 mm, the roots of ten-year-old avocado trees were almost all found in the humus-bearing horizon, which was 8 to 13 cm thick, depending on the profiles observed; the soil in this horizon was a little looser and less compact than the underlying horizons. This superficial rooting was seen irrespective of topographical position: at the foot of, halfway up or at the top of a slope.

In Martinique, in a plantation on the West coast (100 m above sea level, annual rainfall: 1,500 mm), set up on a volcanic pumice soil with a sandy texture (clay: 9%, loam: 18%, sand: 73%), five-year-old Tonnage variety avocado trees showed a very high root density between 0 and 20 cm, with most of the roots between 0 and 10 cm down. These roots, which were roughly a millimetre in diameter, were highly branched. The root density was more moderate from 20 to 100 cm. The roots between 2 and 5 mm in diameter were only slightly branched; they were primarily found in «bands» 0.60 m apart, corresponding to the coulter of the subsoiler used prior to planting.

On the south face of Mount Pelée, (190 m above sea level, annual rainfall: 1,800 mm), a highly developed Lula variety avocado tree (ϕ of the leaf crown: 7 m) had the following rooting pattern:

- 0 to 30 cm: very high density (sandy loam texture);
- 30 to 42 cm: no roots (volcanic ash horizon);
- 42 to 65 cm: high density (sandy loam texture, 50% pumice stones);
- 65 to 100 cm: low density (pumice stone horizon);
- 110 to 120 cm: high density (sandy loam texture);
- as far down as 135 cm: some roots;
- the roots were 1 to 3 mm in diameter and not very branched.

On the northeast face of Mount Pelée (200 m above sea level, annual rainfall: 3,000 mm), in a soil similar to that described above, and for the same variety, the root development of a tree 5.60 m in diameter was as follows:

- 0 to 10 cm: no roots (texture: silty clay sand with pumice stones);
- 10 to 80 cm: two roots 1 mm in diameter in a 1 m section of trench (pumice stone horizon);
- 80 to 90 cm: low density, roots not branched, mostly fine roots (ϕ 1 to 2 mm), some 5 to

10 mm in diameter (sandy texture and pumice stones);

- 90 to 130 cm: low density, little branching, fine (ϕ 1 mm) (pumice stones and coarse sand).

In the central region, well developed five-year-old Tonnage variety trees in good vegetative condition had roots in the first 50 to 60 cm, with an average to high density depending on the trees. There were few roots lower down, except in the case of the most highly developed tree (leaf crown diameter: 4 m), which had roots as far down as 120 cm. This plantation was on a clayey soil (60 to 70% clay from 0 to 25 cm, 70 to 75% further down), in a region with mean annual rainfall of 2,100 mm, 50 m above sea level.

Conclusion

This study showed that like most fruit trees, avocado does not have a «standard» root system as often suggested in the literature on the species. The roots develop to varying depths and the root density (number of roots per area unit) varies, depending on the soil or cultural profile and on farming practices, particularly tillage and irrigation methods.

However, in the humid tropical regions where these observations were carried out, rooting is generally superficial, with most of the roots in the humus-bearing horizon. It is likely that thorough soil tillage before planting (which was not the case in the plantations studied) would increase the root mass in both the topsoil and further down, as seen in a citrus plantation following deep ploughing (Mademba-Sy *et al.*, 1992).

This article has not looked at the problem of Phytophthora root disease, which often causes tree dieback. We shall merely mention the fact that this fungus was found in the soils of plantations in Cameroon, but given the good root development and renewal and the good physico-chemical fertility of the soils, the avocado trees grow and produce fruit normally. ■